液中の気泡の除去について

(株)技術開発総合研究所®

(1) 液中における気泡の混入状態

液中に存在する――≪気泡の形態≫として、①攪拌等により気泡が浮遊混入した場合、②炭酸飲料のように圧力依存により溶融混入している場合、③低い温度で、気泡が溶融混入している場合、の三種類が有ります。

容器内における「①」の場合の様な混入気泡は、適当な時間、大気に放置して置く事により、大部分が排出されます。また、配管内における「①」の場合は、ベントや弁等の絞り流路後に比較的簡単に分離されるため、適当な液溜(=流速が極めて小さい流路や容器)を流路内に用意すると、比較的簡単に、分離・除去可能です。

また、一方、「②」の圧力依存気泡の場合は、「①」と同様に、配管におけるエルボ等の曲り部や制御弁等の絞り部のように、『**圧力降下**』が有る部分で分離され易い特性を有します。

しかし、通常生じる流路内の圧力降下状態では、例え、"脱泡し易い「②」の気泡"と言えども、完全に除去する事は容易で有りません。殊に、溶存酸素のような"気泡"まで脱泡処理するには、「真空除去方式」しか、方法が有りません。

また、「③」の温度依存混入気体の場合は、液体の温度に対して、外気環境温度が高い場合{=あるいは、液体温度が次第に高くなる場合}に、流路内で徐々に気泡分離が生じるため、非常に厄介な存在です。このような"温度依存気泡"を除去するには、理論的には、「液体温度を上昇させる以外は、真空脱泡方式しか」方法が有りません。この事を、良く理解戴く事が重要です。

すなわち、適正な気泡除去を行うためには、「**希望する脱泡レベルに対応した方法**」と「これら三種類の気泡に対応した脱泡方法」を組み合わせて行う事が重要で、そのためにも、『脱泡を希望されるユーザー様の**目的**と、その**レベル**』を充分把握される事が重要と考えます。

(2) 「液中気泡の除去」の必要性

液中の気泡の存在は、「①液体の乳化等のために、希望して気泡混入させる場合と、②液体の運搬や循環等に際して、意図せず発生する場合、あるいは、③元々の液体に含有している場合」、等々が有ります。ここで問題なのが、液中の含有気泡を希望していない、「②や③」の場合です。このような場合に、気泡混入が、悪影響を及ぼす一例を列挙しますと、

(1)正確な容積(流量)計量を希望する場合は、混入気泡の影響で、計測(計量)精度が悪化する、
(2)塗装等の場合は、気泡混入により、塗装面の仕上がりを悪化させる、
(3)潤滑油等への気泡混入は、熱伝達の阻害や摩擦損失(あるいは、翳り)の増加、摩耗の促進を招き、
(4)ディーゼル・エンジンの燃料中の気泡は、噴射特性の阻害あるいは摩耗を招き、排出ガス中のスモーク排出特性を低下させ、
(5)超音波洗浄器等においては、減衰効果により、洗浄効率の低下を招く、

等々の問題を生じさせます。このため、それら原因の確定と、脱泡するレベルを確定して、それに対応した最適な方法を選択する事が望まれます。

(3) 各種の「気泡の除去方法」

液体中の『**混入気泡を完全に除去**』するには、理論的には、液体を真空状態下に置く――すなわち、『**真空ポンプを用いた気泡除去**』しか、方法が有りません。この事を、良く理解して下さい。従って、それ以外の方法を模索する事は、その目的に対応する事は、不可能です。

一方、液体の沸点近傍、あるいは変性点付近まで、液体温度を上昇させて、気泡の排出を促進させる方法も有りますが、このために必要な熱容量、すなわち「必要エネルギー」が極めて大きいため、現実的には、温度上昇のみにより、気泡除去を図る事は、適切とは言えません。ただし、「他の脱泡方法」と「この温度上昇方法」を組み合わせて、気泡除去を図る事は、コスト・パフォーマンスの点で有効な方法と言えます。

さて、尤も簡単な脱泡方法は、(Ⅰ)流速を遅くして、気泡が排出されるのを待つ(すなわち、開放容器内に液体を放置させる、あるいは、流路内に部屋を設ける)事です。これよりも、更に積極的な方法が、(Ⅱ)液体の速度エネルギーの一部を利用して、いわゆる、圧力差を生じさせて、気泡分離させる方法です。弊社の『**マルチスワール・泡イーター**®』及び『**スリットスワール・泡イーター**®』がこの方法に該当し、両者共、『**泡イーター**®』内部に配置されている「**スワール・ホールダー**」内に、強いスワール(=旋回流)を形成させて、外周部に対して中心部の圧力を低下させ、この圧力低下により、

溶融している気体を遊離させます。

そして、液体に対して、気体の比重が約７００倍も軽いことを利用して、反転流により気体を容器上部に収集して、『**泡イーター®**』の内部圧力により、外部排出させております。

他社からも、同種の基本原理で、気泡除去を行っている機器が市販されておりますが、弊社の『**マルチスワール・泡イーター®**』及び『**スリット・スワール泡イーター®**』は、①複数個のジェットにより、容器中心に極めて強い｛＝凡そ、１０(m/sec)｝スワール（＝旋回流）を形成させて、容器内に、強い圧力差を生じさせている事、②容器中央部での遠心作用により、気泡分離を図っている事、且つ、③気泡混入液と純液での質量差を利用して、液体の流れを、容器内で、反転させて下側から流出させている事、等々より、市販されている同原理の機器の中では、『**最高の気泡除去作用**』を有しております。

『**マルチスワール・泡イーター®**』及び『**スリットスワール・泡イーター®**』を、最高に機能させるには、「如何に、強力なスワールを形成させるか、すなわち、スワール生成のために、ジェットから噴出される流速を、如何に大きくさせるか、に有ります。

この目的のため、『**泡イーター®**』への供給流量を大きくさせる事は、ジェットからの流速そのものを大きくさせる事と同じ事ですので、両者共、気泡除去効果を向上させる事に成ります。

この時、更に、「脱泡効率を高める」には、生成されたスワールを、如何に長く持続させるかに有ります。

(株)技術開発総合研究所® 開発の『**マルチスワール・泡イーター®**』および『**スリットスワール・泡イーター®**』は、「スワール・エレメント」中央部に生成された、スワールを保持させる構造と成っているため、他社製品と比較して、スワールの減衰が小さい事も、大きな特徴です。

しかも、『**スリットスワール・泡イーター®**』は、板状のスワールを形成させる方式のため、更に減衰が小さい事が、大きな特徴です。このため、速度減衰を生じ易い、粘度の高い液体に対しても、丸孔ジェット構造の『**マルチスワール・泡イーター®**』よりも、若干、脱泡性能に優れます。

①	入口ハウジング	⑤	スワールホールダー
②	ハウジング・ホールダー	⑥	アウターハウジング
③	取付けボルト	⑦	泡除去ハウジング
④	スワールエレメント	⑧	O―リング

図1 マルチスワール泡イーター®構造図

しかし、粘度の大きい液体では、流体の速度エネルギーにより生成される「圧力差」には限界が有るため、『**スリットスワール・泡イーター®**』でさえも、希望されるレベルまで脱泡を図る事は、基本的には困難です。

そこで、粘度の大きい流体用脱泡器として、「外部エネルギー」により、更に強い遠心効果を計っているものが、『**スクリュー泡イーター®**』です。これは、「スワール・ホールダー」内に、モーター駆動のインペラにより、液体を高速回転｛≦約３０００(rpm)以上｝させて、その遠心効果により、『質量の大きい純液体を外周部に、そして、質量の小さい気泡混入液体を、中心部に選り分けて』、気泡の排出を図ろうとするものです。

基本設計では、「スワール・ホールダー」内の旋回流速は、凡そ、最高２０(m/sec)程度としております。しかし、この方法でも、「スワール・ホールダー」内で生成される“到達圧力差(＝真空度)”には限界が有り、『溶存酸素』等まで完全除去を希望される場合や、高粘度液体の気泡除去での、攪拌のための発熱を懸念される場合には、適用上、問題が有ります。

このため、『**塗料等のように有機溶剤の排出を望まない液体**』の場合や「**スリットスワール・泡イーター®**」の性能では、脱泡レベルに不満足な場合に、この『**スクリュー・泡イーター®**』を適用される事を推奨します。なお、この方式では、「インペラ」の回転速度制御により、ユーザー希望の脱泡レベル制御を行える点に、大きな特徴が有ります。

一方、前述したように、『**液中の気泡の完全除去を希望される場合**』は、原理的には、【真空ポンプを活用】して脱泡する以外に方法は有りません。弊社の『**センタージェット・バキューム・泡イーター®**（省略して、**ＣＪＶ泡イーター®**）』の脱泡原理も、真空ポンプを基本構成とした“気泡除去器”です。

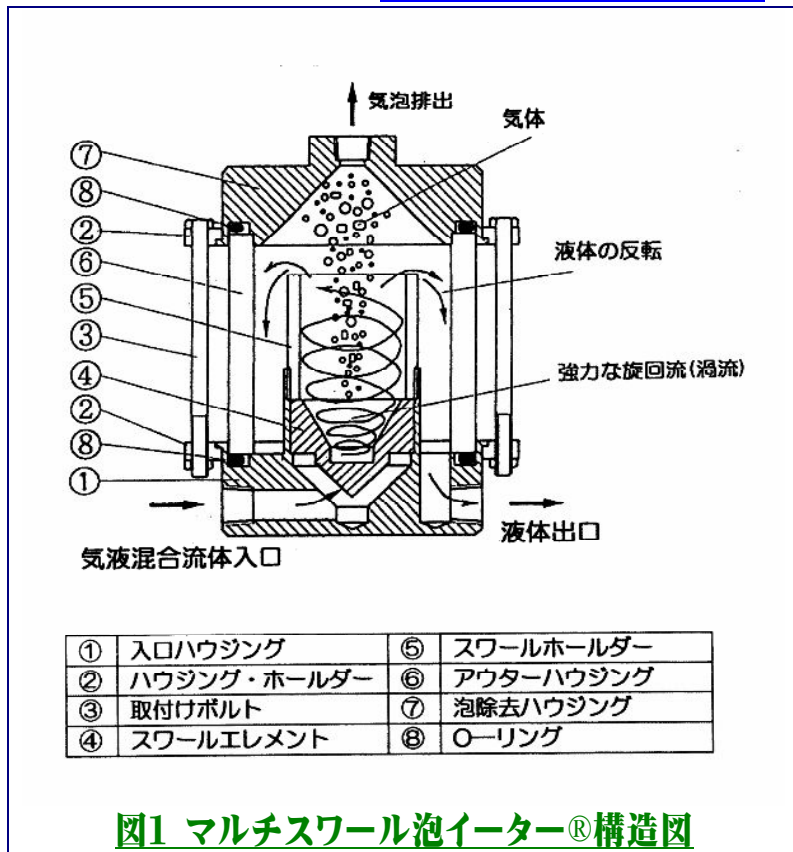
『**ＣＪＶ泡イーター®**』では、①気泡混入液体は、「圧送ポンプ」により、容器内の中央に有る、複数個の細孔を設けた「センター・タワー」に供給されます。②「センター・タワー」周辺部は、ユーザーの希望する気泡除去レベルの真空状態に保持されております。③細孔から気泡混入液体が流出する時、いわゆる、“風船が破裂する状態”で、気泡排出が行われます。そして、④液体は重力によって、下方に流出しながら、『保持されている真空状態と平衡状態』と成ります。こうして、⑤気泡除去された液体は、容器下部の供給タンクに蓄積されます。⑥脱泡された液体は、プランジャー圧送ポンプにより、

当該機器に送られます。なお、過大流量は、⑦蓄積タンクに還流されます。
　この方式の場合、脱泡レベル管理は、前述のように、「容器内の真空圧力制御」により行われます。

図2(a) スクリュー泡イーター®構造図　　　**図2(b) CJV泡イーター® 構造図**

図2　その他形式の『泡イーター®』

(4) 「気泡の除去システム」

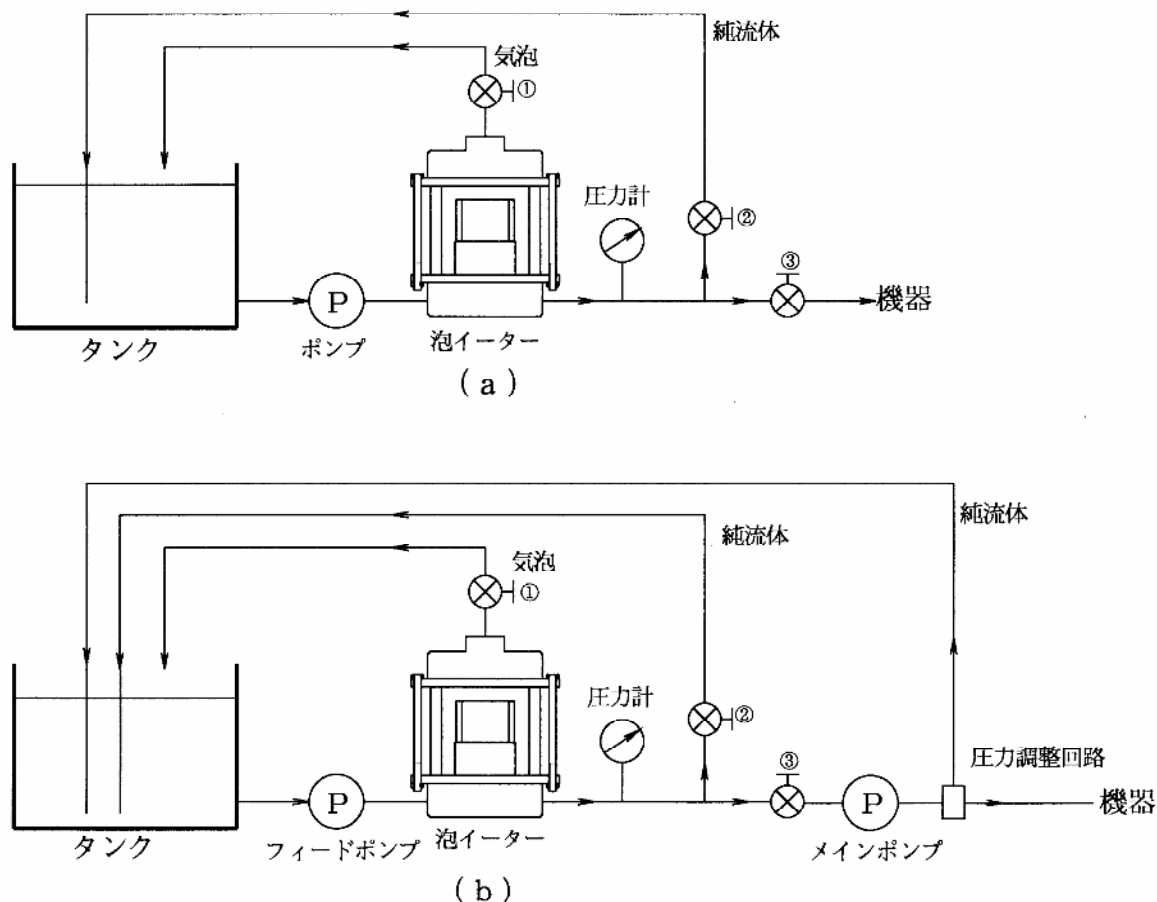
　何れの方式も、「**泡イーター**®」単体では機能しません。『**マルチスワール・泡イーター**®』および『**スリットスワール・泡イーター**®』とも、「①容器」→→→→「②圧送ポンプ」→→→→「③還流ライン」→→→→「④泡イーター®本体」→→→→「⑤還流ライン」→→→→「⑥各種機器」、のシステム構成となります。
　ここで重要なのが、圧送ポンプの流体エネルギーを活用して、「スワールを生成させている事」で、最高性能を得るためには、如何に、供給流量（＝供給圧力）を大きくさせるかが重要と成って来ます。
　『**スクリュー・泡イーター®**』も『**マルチスワール・泡イーター®**』と同じく、「①容器」→→→→「②圧送ポンプ」→→→→「③還流ライン」→→→→「④泡イーター®本体」→→→→「⑤還流ライン」→→→→「⑥各種機器」、のシステム構成と成ります。ただし、異なる点は、如何に長く、「スワール・ホールダー内に液体を滞留させるか」が最高性能を発揮させる要素と成ります。すなわち、どちらかと言えば、流量が少ないほど、理想的な気泡除去性能が得られます。
　『**ＣＪＶ泡イーター®**』も特性的には、この『**スクリュー・泡イーター®**』と同じく、流量が大き過ぎますと、容器内に気泡が発生して処理不能と成ります。このため、この形式では、基本的には、流量を小さく制御する程、効果的な気泡除去が可能です。
　システム構成は、「①容器」→→→→「②圧送ポンプ」→→→→「③還流ライン」→→→→「④泡イーター® 本体」→→→→「⑤圧送ポンプ」→→→→「⑥還流ライン」→→→→「⑦各種機器」の、システム構成と成ります。

(5) 「泡イーター® の適用流量について」

　『**マルチスワール・泡イーター®**』および『**スリットスワール・泡イーター®**』の流量形式では、「**ＭＡ＊－**」、「**ＳＡ＊－**」に続く、「**ＭＡ＊－<u>＃＃＃＃</u>**」、「**ＳＡ＊－<u>＃＃＃＃</u>**」の『**<u>＃＃＃＃</u>**』が、粘度＝**1**(cPs)の流体が、泡イーター前後圧力｛圧力損失｝＝**０．１**(MPa)時に流れる流量、「**＃＃＃＃**(㍑/min)」を表わしております。
　前述の作動原理から明らかなように、スワール生成のために、ジェットから噴出される流速が大きい程、気泡の除去効果が大きいため、『**泡イーター**®前後圧力｛＝圧力損失｝が許容できる』のであれば、形式表示以上の流量で作動させればさせる程、気泡除去効果が大きく成る事が分かります。

非常に単純に表現すれば、「####(㍑/min)」の流量形式の同じ泡イータ®を使用した場合、供給流量をQ(㍑/min)、この時の泡イーターの圧力損失をΔP(MPa)としますと、気泡除去効果『ζ』は、以下の関係で表わされます。

図3　泡イーター®構成システム例

$\zeta \propto Q$ ……………………………………………(1)
$\zeta \propto (\#\#\#\#) \cdot \Delta P^{1/2}$ …………………(2)

上記の**式(2)**より明らかなごとく、「ΔP」を管理する事により流量管理して、泡イーター®性能「ζ」を直接管理する事が出来ます。ただし、使用流体の粘度が大きく成りますと、速度減衰により、粘度＝1(cPs)の場合よりも除去効果が低下しますので、注意して下さい。

一方、『**スクリュー・泡イーター®**』および『**CJV泡イーター®**』の流量形式では、それぞれの形式表示「MA＊－」、「SA＊－」に続く、「MA＊－####」、「SA＊－####」の『####』が、凡その最大処理流量、「####(㍑/min)」を表わしております。ただし、この値は、適用流体により異なりますので、圧損の問題から、実際使用は、これ以下の流量で使用する事が望まれます。{(**註**)圧損問題が無ければ、脱泡性能を重視して、それ以上の流量での使用も可能です}

(5)「泡イーター® の適用粘度について」

前述のように、『**マルチスワール・泡イーター®**』および『**スリットスワール・泡イーター®**』では、流体の速度エネルギーを利用して、容器内部に、“圧力差を形成”させて気泡除去を図っている関係から、速度減衰を生じさせる粘度の影響を強く受けます。

(株)技術開発総合研究所®の『**マルチスワール・泡イーター®**』及び『**スリットスワール・泡イーター®**』共、同

種の原理に基づく、「市販中の製品の中」で最高の性能を発揮します。しかし、粘度が大きく成りますと、性能低下を生ずる関係については、基本的には同じです。しかも、粘度が高いことは、表面張力が強い事も意味しているため、同じ減圧を生じさせても、中々、気泡分離し難い傾向に有ります。しかも、同じ気泡除去効果を得るために、同じ流量を供給させようとしますと、必要圧力は大きく成る関係から、供給圧力が同じで有るならば、供給流量が小さくなり、益々、性能低下を招きます。

例えば、潤滑油を用いた実験では、水を用いた場合の圧損＝**０．１**(MPa) における流量を“Q_{w1}(ﾘｯﾄﾙ/min) ”{＝形式表示の**＃＃＃＃**(ﾘｯﾄﾙ/min)}、実際の供給流量を“Q_x(ﾘｯﾄﾙ/min)”、粘性係数をν(cPs)、その時の圧損をΔP(MPa)としますと、下記の式で概算されます。

$$\Delta P^{1/2} \fallingdotseq 0.32\,\nu^{0.4}\,(Q_x / Q_{w1}) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (3)$$

すなわち、適用流体の粘度が大きくなりますと、同じ流量を供給するための圧損は、「$\nu^{0.4}$」倍大きく成りますので注意して下さい。なお、上記の式は、推定圧損を、若干大き目に見込んでおりますので、実際は、これよりも小さい程度と考えて下さい。

このように、粘度の大きい流体に適用する場合は、①使用するポンプとして、圧送能力に余裕のあるもの{目安として、≧**０．４**(MPa)程度} を選ぶ、②速度減衰を考慮して、最大吐出圧力でポンプ圧送を行う、③流体温度の上昇が可能な場合は、温度を上げて粘度の低下を図って使用する、等々に留意しつつ、④実際に、「**泡イーター®**」を適用して見て、可否の判断を行う、ことが重要です。その結果を受けて、最適な「**泡イーター®**」を提供させて戴きます。

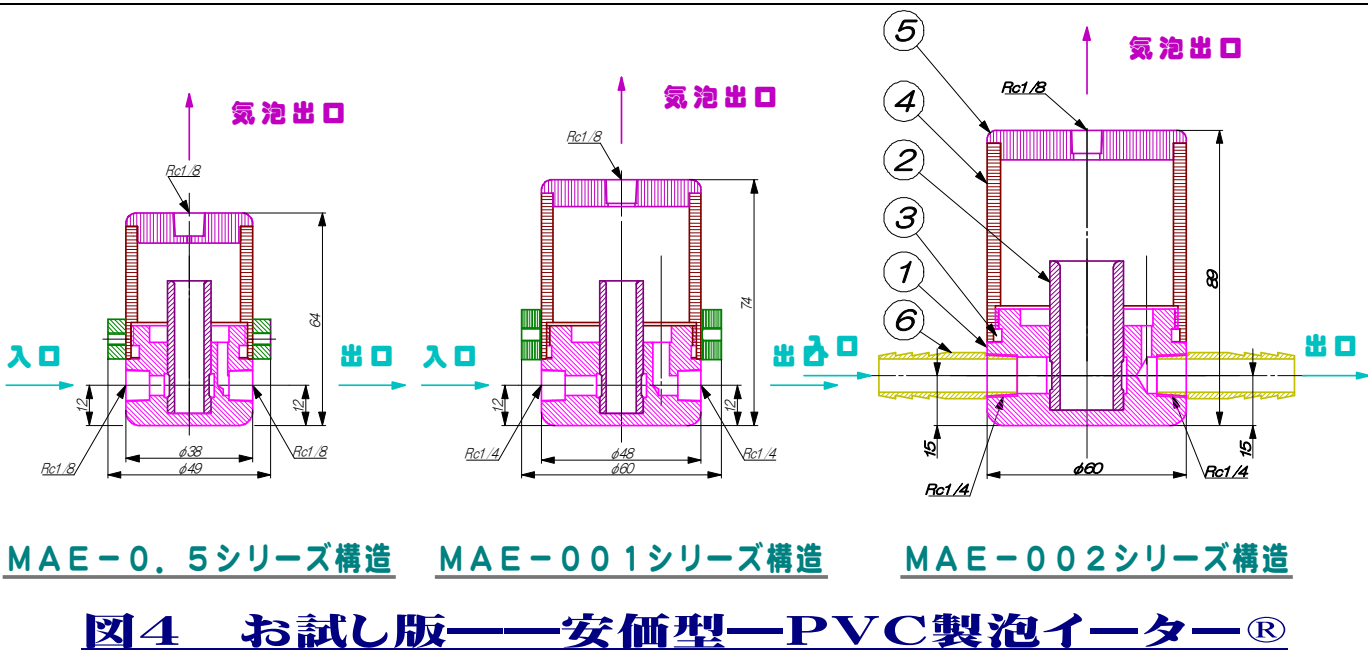
一方、『**スクリュー・泡イーター®**』では、流体を回転させて、その遠心効果により脱泡を図っている関係から、適用可能粘度は、凡そ、≦**１０００**(cPs)程度と考えて下さい。その理由は、流体の圧送等を考えますと、粘度が余り高いと、それに伴う必要エネルギーが大き過ぎる事に有ります。

ただし、構造見直等により、更に高い粘度の液体にも適用可能性を有しておりますので、使用される液体に適用試験を行うことは意味が有ると考えます。

一方、『**ＣＪＶ泡イーター®**』の場合は、ポンプ圧送が可能な流体であれば、液体種別に捕らわれず、基本的には処理可能です。ただし、「センターポール」から重力により、下方流出する必要性が有りますので、この面で限定される事に成ります。流出不可能なレベルの粘度液体の場合は、現状では、「容器内脱泡」しか方法が有りません。

(株)技術開発総合研究所®では、将来の脱泡システムとして、現在、ポーラス状配管を用いた『**フルフロー・泡イーター®**』の開発を進めておりますが、これが実現すれば、非常に簡単に、しかも効率良く脱泡を行う事が可能と成ります。

ＭＡＥ－０．５シリーズ構造　ＭＡＥ－００１シリーズ構造　ＭＡＥ－００２シリーズ構造

図４　お試し版――安価型―ＰＶＣ製泡イーター®

（６）その他について

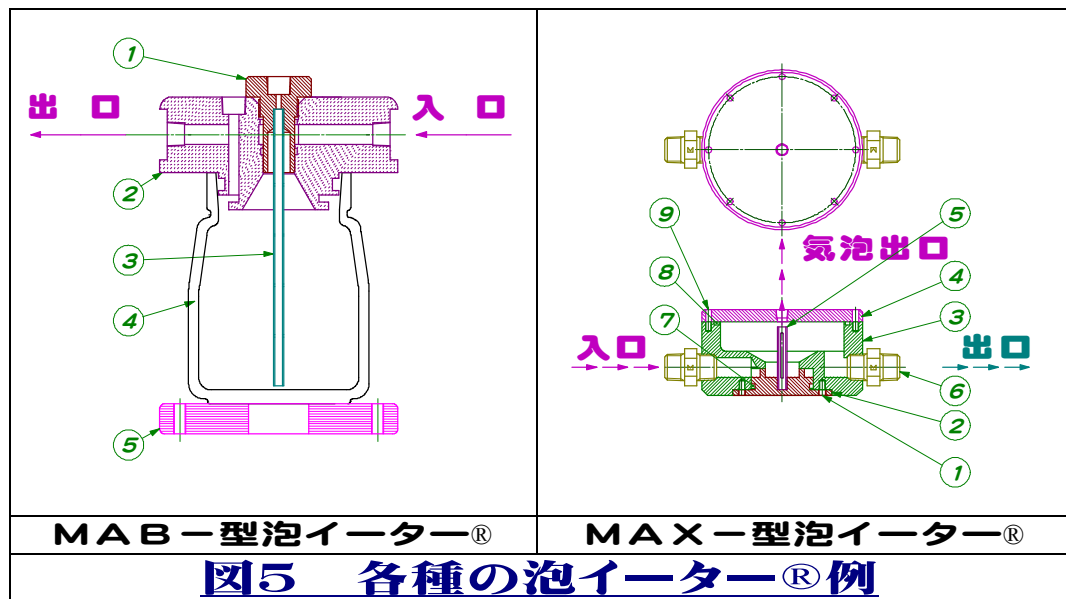
液体中の脱泡については、(**１**)適用する液体(液体の種類、微粒子の混入、気泡混入状態、腐食性等)、使用条件(圧力、温

度、流量等)、(２)要求仕様(脱泡状態、泡の処理、リターン流量等)、等々により対応方法が大きく異なり、単純に最適化を図る事は困難です。

このため、『最高性能を希望される場合』は、図４に示す、小型モデルで適用試験を行って、その後、当該要求仕様の物を製作する事が望まれます。

このような方法で、お客様の要求に対応した、一例として、図５に示す、最適な──気液分離装置を提供させて戴きます。「気泡除去器」の難しさは、お客様の、「①希望価格」、「②適用流体（適用材質）」、「③使用温度・圧力条件」、「④気泡混入状態」、「⑤希望脱泡レベル」、「⑥気泡脱泡の観測窓の有無」等により、選択される構造体が異なる事です。

単純な“浮遊脱泡”の場合は、形式は問いませんが、それでも、「①希望価格」と「②適用流体（適用材質）」により、構成される材料と大きさが変わって来ます。「希望価格」に問題が無ければ、適用形式と構造を、即、決定する事が可能ですが、殊に、「希望価格」に制限が有る場合、その価格内で、最適な形式を創出する事に成ります。

図５　各種の泡イーター®例

（７）関連資料について

(株)技術開発総合研究所®における、『気泡除去機器に関する最高開発(「techno-solution」＝一つの最高の解を求める。techno-solution.com　は登録ドメインです。)』はまだ進行中です。このため、完全に整理された資料は、未完成です。この点、平にご容赦下さい。なお、この他に、次の資料が有ります。

（１）『**マルチスワール・泡イーター®**』の取扱説明書
（２）「**マルチスワール®、及びスリットスワール・泡イーター®**」の気泡除去性能に及ぼす流量の影響について
（３）食品用『**超大型──マルチスワール・泡イーター®**』カタログ
（４）『**水取ロン®＆泡イーター®・システム**』カタログ
（５）『**マルチスワール・泡イーター®**』カタログ
（６）『**大型マルチスワール・泡イーター®**』カタログ

｛未完｝

(株)技術開発総合研究所®
文責　本望 行雄

《技術情報》
ヤマサ醤油㈱様に納品された，弊社『４２００(kg/hour)流量の、大型**マルチスワール・泡イーター®**』が、１９９９年０２月０９日から本格稼動し、「**ゴマだれ　めんつゆ**」を毎分２００本｛＝装置の最高性能｝の充填製造に成功。従来は、毎分１００本の製造で、「内在する気泡の影響」で、充填トラブルを招くため、検査・修復人員を２人配置していたが、これを廃止することが可能と成った。｛日本経済新聞に掲載｝

信越地区代理店　新潟フューテック
（信越地区以外も対応いたしますのでお問合せ下さい）
担当　樋渡　忠
直通　090-6563-3798　　tel/fax　025-378-6036
メール：t-hiwatashi@fu-tech.biz